

REDVET. Revista electrónica de Veterinaria 1695-7504
2008 Volumen IX Número 10



REDVET Rev. electrón. vet. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>
Vol. IX, Nº 10 Octubre/2008 – <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n101008.html>

Nutrición y calidad de la carne de los rumiantes - Nutrition and quality of meat from ruminant animals

Martínez Marín, Andrés L.

Profesor Asociado del Departamento de Producción Animal de la Universidad de Córdoba (España). Licenciado en Veterinaria en el año 1991. Responsable de Nutrición y Dirección Técnica de fábricas de pienso desde el año 1996. Profesor Asociado del Departamento de Producción Animal de la Universidad de Córdoba, Área de Nutrición Animal, desde el año 2003. Director Técnico de explotaciones ganaderas. Artículos publicados en Mundo Ganadero, Journal of Dairy Science, Nuestra Cabaña, REDVET y Archivos de Zootecnia. Socio numerario de la Asociación Española para la Calidad (AEC). Contacto por e-mail: andres_l_martinez@lycos.es ; pa1martm@uco.es

REDVET: 2008, Vol. IX, Nº 10

Recibido 26.04.08 / Ref. provisional M002_RED VET / Revisado 01.09.08 /
Ref. definitiva n101008_101010_RED VET / Aceptado 14.09.08 / Publicado: 15.10.08

Este artículo está disponible en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n101008.html> y más concretamente en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n101008/1010804.pdf>

REDVET® Revista Electrónica de Veterinaria está editada por Veterinaria Organización®.
Se autoriza la difusión y reenvío siempre que enlace con Veterinaria.org® <http://www.veterinaria.org> y con
REDVET® - <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>

RESUMEN

Aparte de los factores intrínsecos de los animales (raza, sexo) y de aquellos relacionados con el faenado y el procesado de la carne (sacrificio, maduración, conservación), la calidad de la canal y las cualidades organolépticas y saludables de la carne están muy influenciadas por la nutrición de los animales. El tipo y cantidad de grasa incluida en las raciones, los nutrientes aportados y la incorporación de ciertas vitaminas y sustancias análogas pueden aumentar el tenor de la carne en nutrientes esenciales de repercusión favorable sobre la salud del consumidor, mejorar las características de la canal, mantener un color deseable en la carne durante la comercialización o incrementar la ternura de la misma. En sus diseños y recomendaciones para la formulación, fabricación y suministro de raciones a los animales, el nutricionista debe tener en consideración la influencia que la alimentación tiene sobre el producto final obtenido con objeto de contribuir positivamente a su calidad organoléptica y dietética. En la presente revisión se recogen resultados obtenidos en pruebas experimentales realizadas con rumiantes en las que se ha tratado de determinar el efecto que la inclusión de determinadas fuentes de grasa en las raciones o la incorporación a las mismas de ciertos minerales, oligoelementos, vitaminas y sustancias análogas, tiene sobre las cualidades saludables u organolépticas de la carne.

PALABRAS CLAVE: salud | carne | ácidos grasos | minerales | oligoelementos | vitaminas.

ABSTRACT

Apart from the factors inherent to the animal itself (race, sex) and those related to the meat processing (sacrifice, maturation, conservation), carcass quality and sensory and healthful characteristics of the meat are influenced by the nutrition of the animals. Type and amount of fat sources, and minerals, vitamins and analogous substances included in the ration can increase the meat content in essential nutrients favourable to the consumer's health, improve the characteristics of the carcass, maintain a desirable meat colour during the commercialization or increase its tenderness. When working out rations to fed meat producing animals the nutritionist must take into account the effect of the diet on the sensory and dietetic qualities of the products obtained. The present paper reviews some results obtained from trials carried out with ruminant animals to determine the effect of the inclusion in their diets of certain fat sources or certain minerals, trace elements, vitamins and analogous substances, on healthful and sensory qualities of their meat.

KEYWORDS: health | meat | fatty acids | minerals | trace minerals | vitamins.

INTRODUCCIÓN

De entre los factores ajenos al faenado y la conservación que influyen en la calidad de la canal y en las cualidades organolépticas de la carne, la alimentación ocupa un lugar relevante (Sañudo y Campo, 1998). El tipo y cantidad de los alimentos suministrados, el aporte de nutrientes y sus interrelaciones, y los aditivos incluidos en la ración influyen en aspectos tales como el rendimiento de la canal, el estado de engrasamiento, el color, olor y ternura de la carne, la consistencia y el color de la grasa, etc. (Cañeque y *col.*, 1989; Beriain, 1998; Owens y Gardner, 1999). Además, la carne de los rumiantes es una fuente importante de nutrientes para el ser humano y tiene un elevado valor sensorial, aunque la importancia y naturaleza de estas características dependen de la nutrición que reciben los animales (Geay y *col.*, 2001).

Los primeros aspectos que el consumidor considera a la hora de comprar carne son el color y el contenido de grasa de cobertura e infiltrada (Risvik, 1994). El color está relacionado con el grado de oxidación de la mioglobina, que a su vez depende del grado de protección de la misma frente a los prooxidantes (Monahan y *col.*, 1994; Liu y *col.*, 1995; McDowell y *col.*, 1996). El tenor graso está relacionado fundamentalmente con el nivel de alimentación durante el período previo al sacrificio (INRA, 1988).

En el momento del consumo, tras la preparación culinaria, se valoran otras características como el olor, el sabor y la terneza (Risvik, 1994). El olor y el sabor son inducidos respectivamente por sustancias volátiles (derivadas de reacciones de Maillard y de la degradación de los lípidos) e hidrosolubles (aminoácidos, sales, azúcares) (Melton, 1990; Farmer, 1994; Woods, 1998). La terneza depende del contenido de colágeno en el músculo, del tipo de fibras predominantes en el mismo y del grado de entrelazado entre ellas (McCormick, 1994; Purslow, 2005; Lepetit, 2007). Otro factor que influye en la terneza es el grado de degradación de las proteínas miofibrilares tras el sacrificio (Silva y *col.*, 1999; Robert y *col.*, 1999), que a su vez depende de la activación de diversos sistemas enzimáticos con actividad proteolítica entre los que las calpains calcio-dependientes son especialmente relevantes (Wheeler, 1990; Koohmaraie, 1996; Maltin, 2003; Ouali y *col.*, 2006).

Actualmente, uno de los aspectos más influyentes en el consumidor para la elección de uno u otro tipo de carne es el aporte de grasas saturadas que pueda suponer a la dieta. Igualmente, día a día adquieren relevancia los posibles beneficios del consumo de determinados tipos de alimentos en cuanto a su tenor de nutrientes de efecto particularmente positivo sobre la salud como son los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) de la serie n-3 (AGPI n-3) y el ácido linoleico conjugado (ALC) (Williams, 2000; Geay y *col.*, 2001). A través de la nutrición de los animales se puede incrementar el contenido de dichos ácidos grasos en la carne, haciéndola más saludable, aunque esto puede repercutir sobre el aroma, el sabor y la conservación (Wood y *col.*, 1999).

Por otro lado, ha ido en aumento el interés que los ganaderos muestran por la calidad de la carne que producen sus animales con objeto de conseguir la mayor aceptación de aquella por parte de los consumidores (Drake, 2007). Si los ganaderos son capaces de optimizar los atributos de los productos, ello ayudará a incrementar su valor entre los consumidores (Clark, 1998).

En su trabajo diario, el nutricionista debe tener en cuenta la forma en que las raciones por él diseñadas pueden influir sobre los productos animales y aplicar aquellos conocimientos que repercutan favorablemente sobre dichos productos a todos los niveles: rendimiento económico para el ganadero, valoración comercial para el distribuidor y el detallista y cualidades organolépticas y de salud pública para el consumidor (Anónimo, 2003).

El objetivo del presente trabajo fue revisar los resultados de pruebas experimentales en que se ha tratado de determinar el efecto que la grasa suplementaria añadida a la ración o la incorporación de ciertos minerales, vitaminas y sustancias análogas, puede tener sobre la calidad de la canal y la carne de los rumiantes desde el punto de vista de su conservación, cualidades sensoriales o efectos beneficiosos sobre la salud humana.

GRASA Y ÁCIDOS GRASOS

El efecto de la nutrición sobre el contenido y tipo de ácidos grasos en la carne de los rumiantes ha sido revisado recientemente por Martínez (2007) y aquí no se insistirá en los procesos ruminales y metabólicos que participan en la síntesis y deposición de los ácidos grasos saludables.

La inclusión en la ración de diversas fuentes suplementarias de grasa – semilla de lino (Enser y *col.*, 1999; Wachira y *col.*, 2002; Raes y *col.*, 2003; Aharoni y *col.*, 2004; De La Torre y *col.*, 2006), semilla de cártamo (Bolte y *col.*, 2002; Kott y *col.*, 2003), semilla de girasol expandida (Santos-Silva y

col., 2003), haba de soja extrusionada (Madron y *col.*, 2002; Aharoni y *col.*, 2005), aceite de cártamo (Mir y *col.*, 2000), aceite de maíz (Gillis y *col.*, 2004), aceite de girasol (Noci y *col.*, 2005), aceite de soja (Engle y *col.*, 2000; Beaulieu y *col.*, 2002; Griswold et al 2003; Santos-Silva y *col.*, 2004; Aharoni y *col.*, 2005; Bessa y *col.*, 2005), aceite de pescado (Enser y *col.*, 1999; Wachira y *col.*, 2002)- ha sido en general un método exitoso de aumentar el tenor de ALC en la carne.

El aumento del contenido de ALC en la carne, aunque muy variable (desde 8,5 a más de 300%), fue positivo en dieciséis de las pruebas mencionadas (Enser y *col.*, 1999; Engle y *col.*, 2000; Mir y *col.*, 2000; Bolte y *col.*, 2002; Madron y *col.*, 2002; Wachira y *col.*, 2002; Kott et al., 2003; Raes y *col.*, 2003; Santos-Silva y *col.*, 2003; Aharoni y *col.*, 2004; Gillis y *col.*, 2004; Santos-Silva y *col.*, 2004; Noci y *col.*, 2005; Bessa y *col.*, 2005; Aharoni y *col.*, 2005; De La Torre y *col.*, 2006), negativo en una prueba (Griswold y *col.*, 2003), y sin efecto en otra prueba (Beaulieu y *col.*, 2002).

Los resultados obtenidos en los diferentes estudios se relacionan más con el efecto de la dieta basal y la cantidad de AGPI aportados sobre el proceso de biohidrogenación ruminal y la deposición tisular que con el tipo de grasa utilizada, de ahí las diferencias en las respuestas (Martínez, 2007).

Las raciones que reducen la intensidad de la biohidrogenación completa de los AGPI aportados favorecen la producción de ácido vaccénico, aumentando la cantidad que puede ser absorbida en intestino y su disponibilidad en los tejidos periféricos para la síntesis de ALC. Esto sería lo que ocurre cuando los animales consumen raciones más o menos concentradas suplementadas con fuentes de grasa ricas en AGPI (Engle y *col.*, 2000; Mir y *col.*, 2000; Bolte y *col.*, 2002; Madron y *col.*, 2002; Wachira y *col.*, 2002; Kott y *col.*, 2003; Raes y *col.*, 2003; Santos-Silva y *col.*, 2003; Gillis y *col.*, 2004; Noci y *col.*, 2005; De La Torre y *col.*, 2006), aunque también se ha observado en raciones para corderos basadas en heno de alfalfa molido y granulado (Bessa y *col.*, 2005) o heno de alfalfa entero (Santos-Silva y *col.*, 2004), y en terneros consumiendo raciones con más del 45% de forraje (Aharoni y *col.*, 2004; Aharoni y *col.*, 2005).

También puede ocurrir aumento de la cantidad de ALC como tal disponible para su absorción intestinal por el efecto depresor de la hidrogenación del mismo a ácido vaccénico en presencia de AGPI de más de 20 carbonos por la adición de aceite de pescado a la ración (Enser y *col.*, 1999). Sin embargo, el consumo de una ración con excesivo contenido de AGPI (aporte elevado de aceites vegetales) o capaz de reducir sustancialmente el pH ruminal (ración muy concentrada y/o con escasa capacidad tampón), puede tener efectos adversos sobre la microflora celulolítica del rumen, que es la principal responsable de la biohidrogenación, a tal punto que se limite la producción ruminal tanto de ácido ALC como de ácido vaccénico, reduciéndose por tanto la cantidad absorbida y disponible para los tejidos (Griswold y *col.*, 2003; Bessa y *col.*, 2005).

Por otro lado, la absorción intestinal de una elevada cantidad de AGPI no modificados puede ocasionar un efecto depresor de la actividad de la enzima delta-9-desaturasa, lo que a su vez, reduciría aún más la síntesis de ALC en los tejidos (Griswold y *col.*, 2003). Igualmente, aquellas raciones que favorezcan un ambiente ruminal en el que la isomerización de los AGPI resulte en una mayor proporción del isómero C18:2trans-10,cis-12 (Beaulieu y *col.*, 2002; Bessa y *col.*, 2005) también ocasionarán menor deposición tisular de ácido ruménico por la inhibición que ejerce aquel isómero sobre la actividad de la enzima delta-9-desaturasa.

A diferencia de las acciones para aumentar el tenor de ALC en la carne, mediante las que se pretende una biohidrogenación incompleta de los AGPI de la ración, el mayor reto de aumentar el aporte de AGPI n-3 como tales al duodeno es evitar la biohidrogenación ruminal de los mismos. Las fuentes suplementarias de grasa con mayor contenido de AGPI n-3 son la semilla de lino (rica en ácido linolénico), la harina de pescado, el aceite de pescado y las algas marinas (ricos en ácido eicosapentaenoico –AEP- y ácido docosahexaenoico –ADH-) (FEDNA, 2003; ANZFA, 2001; Pratoomyot y *col.*, 2005)

La incorporación de semilla de lino a la ración permite aumentar el contenido de ácido linolénico en la grasa intramuscular de los terneros (Aharoni y *col.*, 2004, Barton y *col.*, 2007) y en los corderos (Wachira y *col.*, 2002), pero para conseguir un aumento del tenor de AEP utilizando dicha fuente de grasa es necesario comenzar el suministro al inicio del período de crecimiento dando tiempo suficiente para la síntesis endógena e incorporación del AEP a los fosfolípidos (Raes y *col.*, 2003). Por otro lado, el incremento del aporte de ácido linolénico no tiene un efecto cuantitativamente importante sobre el contenido de ADH (Wachira y *col.*, 2002; Raes y *col.*, 2003; Demirel y *col.*, 2004).

La medida más efectiva para incrementar el tenor de AEP y ADH en la carne de los rumiantes ha sido la incorporación a la ración de fuentes de grasa ricas en dichos ácidos grasos (Ponnampalam y *col.*, 2001a; Ponnampalam y *col.*, 2001b; Wachira y *col.*, 2002; Cooper y *col.*, 2004; Demirel y *col.*, 2004; Elmore y *col.*, 2005). La harina de pescado es una fuente adecuada de AEP y ADH pero su utilización en la alimentación de los rumiantes está actualmente prohibida en la Unión Europea (UE, 2003). El aceite de pescado presenta el inconveniente de las repercusiones negativas que tiene sobre la digestión ruminal (Kitessa y *col.*, 2001a; Kitessa y *col.*, 2001b) y, por tanto, no lo hacen un producto especialmente indicado como fuente suplementaria de grasa, salvo que esté convenientemente protegido frente a la digestión ruminal (Kitessa y *col.*, 2001a; Kitessa y *col.*, 2001b; Kitessa y *col.*, 2003). Por ello, la utilización de algas marinas (Sinclair y *col.*, 2005a; Sinclair y *col.*, 2005b) es más interesante teniendo además en consideración la preocupación de las agencias gubernativas y de los consumidores sobre el uso de productos del pescado en la alimentación de los rumiantes (Reynolds y *col.*, 2006).

MAGNESIO

Además de ser un componente esencial de los huesos y los dientes, el magnesio es necesario para la fosforilación oxidativa que conduce a la formación de ATP, por consiguiente, participa en el metabolismo de los carbohidratos y lípidos y en la síntesis de proteína (Bondi, 1989). La cantidad de magnesio recomendada en la ración de terneros es de 0,1% de la materia seca (NRC, 1996). Los corderos de 20 kg de peso vivo creciendo 150 g/d deben consumir 0,72 g diarios (McDonald y *col.*, 2006). En los rumiantes prácticamente todo el magnesio es absorbido en el rumen en un proceso sodio-potasio-ATPasa dependiente (Bondi, 1989). Por tanto, cualquier factor que afecte a la concentración de magnesio en el fluido ruminal influenciará sus requerimientos.

En el estudio de Zinn y Shen (1996), el incremento del aporte de magnesio de 30 a 53 mg/kg de peso vivo en una ración de terneros con sebo añadido al 3% de la materia seca determinó mejores resultados productivos. Según estos autores, la mayor cantidad de magnesio probablemente compensó la

pérdida ruminal del mismo debida a su insolubilización al formar jabones con la grasa.

Esta hipótesis fue verificada en el trabajo de Ramirez y Zinn (2000). En una primera prueba de digestibilidad ruminal se comprobó que la adición de un 4% de grasa animal en la ración de los terneros redujo la digestibilidad aparente del magnesio, mientras que el incremento del porcentaje de magnesio en la ración del 0,18 al 0,32%, aumentó la misma. En una segunda prueba se compararon los mismos niveles de magnesio frente a la adición o no de diferentes fuentes de grasa animal y se observó que la concentración mayor de magnesio afectó de forma positiva a la deposición de grasa intramuscular, mejorando el veteado de la canal.

COBRE

El cobre forma parte de diversas enzimas con función oxidasa que son necesarias para la síntesis de hemoglobina, el mantenimiento de la integridad estructural de los huesos y vasos sanguíneos, la síntesis de colesterol, etc. (Bondi, 1989). La concentración recomendada en la ración para terneros es de 10 ppm (NRC, 1996) mientras que las raciones de corderos deben aportar 3 ppm (McDonald y *col.*, 2006). En la Unión Europea, la cantidad de cobre en la ración de los terneros rumiantes no puede exceder de 50 ppm, en los ovinos la cantidad máxima permitida es de 15 ppm (UE, 2004).

En terneros, Ward y Spears (1997) encontraron que la adición durante el período completo de cebo de una dosis tan baja como 5 ppm a dietas marginalmente deficientes en cobre (5 ppm) mostró tendencia a reducir la grasa dorsal y a aumentar la superficie del músculo longísimo. La adición de 5 ppm de molibdeno a la ración redujo el nivel de cobre del organismo pero no afectó a la calidad de la canal.

La adición de 20 ppm de cobre en diversas formas químicas (sulfato, citrato, proteinato y cloruro) a la ración tendió a disminuir la concentración de ácidos grasos saturados (AGS) en el músculo longísimo de terneros y a aumentar el contenido de AGPI independientemente de la molécula utilizada (Engle y *col.*, 2000a).

Dichos resultados fueron confirmados posteriormente por Engle y Spears (2000) suministrando a terneros una ración con un contenido basal de 5 ppm de cobre, en comparación con la misma ración suplementada con 10 ó 20 ppm de cobre en forma de sulfato cúprico. Pudo comprobarse que los terneros que consumieron las raciones suplementadas tenían menor espesor de la grasa dorsal y mayor relación AGPI/AGS en el músculo longísimo.

El mecanismo de actuación del cobre sobre el metabolismo lipídico de los rumiantes no está aclarado, existiendo dudas sobre si el efecto ocurre a nivel ruminal o tisular. Engle y *col.* (2000b) encontraron que el cobre añadido a la ración (20 ppm) por sí solo no afectó a las características de la canal, aunque la tendencia al aumento del contenido de AGPI en el músculo longísimo se relacionó con una reducción de la biohidrogenación ruminal. Sin embargo, el suministro concomitante en la ración de un 4% de aceite de soja resultó en una mayor deposición de ALC en la grasa muscular, lo que se debería a una mayor biohidrogenación ruminal.

Según Ward y *col.* (1996) el sulfato de cobre y el proteinato de cobre tienen la misma disponibilidad biológica en las raciones con bajo contenido de molibdeno (< 6,9 ppm), en tanto que si la ración es alta en molibdeno,

el proteinato de cobre es más biodisponible que el sulfato cúprico. En cuanto al carbonato cúprico, si bien contribuye a elevar el cobre plasmático, no es almacenado eficientemente en el hígado.

El posible efecto beneficioso sobre la canal de la adición de cobre de las raciones de corderos está supeditado al riesgo de sobredosificación, ya que esta especie es mucho más susceptible a la intoxicación (dosis máxima tolerada 15 ppm) que el vacuno (dosis máxima tolerada 100 ppm) (INRA, 1988).

ZINC

El zinc es componente integral de varias enzimas relacionadas con el metabolismo proteico y la división celular y actúa como cofactor en diversos sistemas enzimáticos (Bondi, 1989). La concentración de zinc recomendada en la ración de terneros es de 30 ppm (NRC, 1996) mientras que para corderos la concentración recomendada es de 40 ppm (McDonald y *col.*, 2006). En la Unión Europea, la cantidad de zinc en la ración de los rumiantes no puede exceder de 250 ppm (UE, 2004).

En las dos pruebas realizadas por Malcolm-Callis y *col.* (2000) no se observó ninguna diferencia significativa entre los niveles de zinc estudiados (20, 100 y 200 ppm) ni entre las tres moléculas comparadas (sulfato de zinc, complejo de aminoácidos y zinc y complejo de polisacáridos y zinc), salvo la cantidad de grasa subcutánea que fue mayor en los terneros que recibieron el zinc en forma orgánica.

En otra prueba (Spears y Kegley, 2002) para comparar el efecto del aporte de 25 ppm de zinc sobre la ración control de crecimiento (33 ppm de zinc) y de finalización (26 ppm de zinc) con tres fuentes diferentes (óxido de zinc, proteinato de zinc-A y proteinato de zinc-B), se observó que los terneros que consumieron la ración con proteinato de zinc tuvieron un mayor peso de la canal caliente y ligeramente mejor rendimiento. El grado de calidad, el grado de producción, el veteado y la grasa dorsal fueron incrementados por la adición de zinc independientemente de la fuente utilizada.

Por el contrario, Kessler y *col.* (2003) compararon el aporte de extra de zinc (10 ppm) mediante tres fuentes del mismo (proteinato de zinc, complejo de zinc-polisacárido y óxido de zinc) a una ración control (35 ppm de zinc) de terneros y no pudieron observar ninguna diferencia en las características de la canal o en la calidad de la carne por efecto del nivel o la fuente de zinc.

MANGANESO

El manganeso es componente de la enzima piruvato-carboxilasa que interviene en el metabolismo de los carbohidratos y las grasas, también es necesario como cofactor en la síntesis de escualeno y colesterol, y forma parte de la enzima superóxido-dismutasa encargada de la inactivación de los radicales superóxidos a peróxido de hidrógeno y agua (Bondi, 1989). La concentración recomendada de manganeso en la ración de terneros es de 20 ppm (NRC, 1996) mientras que para corderos la concentración recomendada es de 40 ppm (McDonald y *col.*, 2006). En la Unión Europea, la cantidad de manganeso en la ración de los rumiantes no puede exceder de 250 ppm (UE, 2004).

En cerdos, el suplemento de la ración durante el crecimiento y cebo con 80 ppm de manganeso mejoró el color de la carne tras el despiece sin que se observaran efectos sobre la oxidación de los lípidos (Apple y *col.*, 2006).

En una prueba realizada con terneros (Legleiter y *col.*, 2005) se estudió el efecto de la adición a la ración de crecimiento (contenido de manganeso: 29 ppm) y a la ración de finalización (contenido de manganeso: 8 ppm) de niveles crecientes de manganeso (10, 20, 30, 120 ó 240 ppm). No se observaron diferencias significativas en los parámetros productivos ni en las características de la canal. La concentración de manganeso en el hígado y el músculo longísimo aumentó linealmente con la dosis. El contenido de lípidos en el músculo longísimo varió cuadráticamente, aumentando ligeramente en los terneros que recibieron las raciones suplementadas con 30 ó 120 ppm.

SELENIO

El selenio forma parte de la enzima glutatión-peroxidasa que cataliza la reducción del peróxido de hidrógeno y de los peróxidos formados a partir de los ácidos grasos inactivándolos a compuestos hidroxilados inocuos para las membranas celulares. También participa en la producción de lipasa pancreática contribuyendo por tanto a la capacidad de absorción de los lípidos en intestino (Bondi, 1989). La cantidad de selenio recomendada en la ración de terneros (NRC, 1996) y corderos (McDonald y *col.*, 2006) es de 0,1 ppm. El límite de toxicidad del selenio en animales se sitúa en torno a 5 ppm en la ración diaria (McDonald y *col.*, 2006). En la Unión Europea, la cantidad de selenio en la ración de los rumiantes no puede exceder de 0,5 ppm (UE, 2004).

En adición a su efecto antioxidante, al selenio se le atribuyen efectos anticarcinogénicos (Rayman, 2005). El consumo de selenio en cantidad de 200 µg/d durante 10 años se ha relacionado con una reducción de la incidencia de tumores en personas (Clark y *col.*, 1996).

El suministro de alimentos naturalmente ricos en selenio o enriquecidos con selenato sódico a terneros provocó un aumento similar del contenido plasmático de selenio a los 21 días de iniciado el consumo, aunque los animales que consumieron los alimentos de mayor tenor natural mostraron una elevación más temprana del mismo (Taylor y *col.*, 2002).

En una prueba realizada con terneros (Lawler y *col.*, 1995), se comparó el aporte en la ración de 0,3 ppm de selenio frente a una concentración de 2,8 ppm procedente de tres fuentes diferentes (grano de trigo, heno o selenito sódico). Los terneros no mostraron diferencias en los índices productivos ni en las características de la canal pero los tejidos de los animales que consumieron las raciones enriquecidas mostraron un mayor contenido de selenio (músculo semitendinoso: 4,41 ppm en la ración con trigo vs 1,33 ppm en la ración control).

El consumo de 100 g (peso fresco) de carne de vacuno proporciona unos 25 µg de selenio (USDA, 2007a) o en torno al 40% de las necesidades diarias recomendadas en personas adultas. Sin embargo, el consumo de la misma cantidad de carne procedente de los animales que recibieron la ración con trigo rico en selenio de la experiencia de Lawler y *col.* (1995) aportaría 146 µg o casi tres veces más que el consumo mínimo diario recomendado (USDA, 2007b).

VITAMINA E

La vitamina E tiene capacidad antioxidante *in vitro*, en la luz del tracto digestivo y en el interior de las células, de forma complementaria al selenio, ya que actúa evitando la formación de radicales libres. En consecuencia, la vitamina A, caroteno, vitamina C y los ácidos grasos poliinsaturados (principalmente los fosfolípidos) quedan protegidos del ataque de los radicales libres y la oxidación (Bondi, 1989). El aporte recomendado en la ración de terneros es de 50 a 100 UI/d (NRC, 1996), mientras que para corderos la ración debe aportar 21 UI/d (McDonald y col., 2006). En la Unión Europea no se ha fijado un límite superior de inclusión de vitamina E en los piensos (UE, 2004).

Generalmente, el enriquecimiento de la ración de terneros o de corderos en cebo con vitamina E no ha tenido efectos sobre los índices productivos ni las características de la canal. Sin embargo, el incremento de la concentración de alfatocoferol en la musculatura esquelética ha repercutido favorablemente sobre la estabilidad del color y la resistencia a los procesos de oxidación de la carne (Buckley y col., 1995; Liu y col., 1995; Wulf y col., 1995; Morrissey y col., 1994; Macit y col., 2003).

El color de la carne depende del estado de oxidación de la mioglobina. El color púrpura de la carne fresca, recién cortada, es debido a la deoximioglobina. Tras unos minutos de exposición al aire, la deoximioglobina se oxida a oximioglobina que confiere un color brillante a la carne. Tras varios días de exposición de la carne al aire, la oximioglobina se convierte en metamioglobina por hidratación, dándole a la carne un color amarronado indeseable. La deoximioglobina y la oximioglobina poseen hierro ferroso en su molécula, en tanto, que la metamioglobina tiene hierro en forma férrica. La conversión del hierro ferroso a férrico es debida a la oxidación, y esta puede desencadenarse por un variado grupo de prooxidantes (iones metálicos, peróxido de hidrógeno, radicales libres). Estos prooxidantes pueden actuar directamente sobre la molécula de mioglobina o causar la oxidación de los lípidos generando peróxidos capaces de oxidar el hierro ferroso. La oxidación de la carne afecta tanto al color como al olor y sabor. Se cree que el efecto de la vitamina E sobre el color de la carne está mediado por la protección de la hemoglobina frente a los radicales libres de forma directa e indirectamente protegiendo a los lípidos musculares de la oxidación (Kanner, 1994; Liu y col., 1995; Morrissey y col., 1998).

En una serie de pruebas con terneros (Arnold y col., 1993) en las que se compararon varios niveles de vitamina E suplementaria, administrada durante diferentes períodos de tiempo, pudo comprobarse que el consumo de 300, 1140 ó 1200 UI/d durante 266, 67 ó 38 días respectivamente, prolongó la estabilidad del color de la carne en torno a 4 días en comparación con la ración control sin vitamina E añadida. La oxidación de los lípidos musculares y la formación de metamioglobina fueron inhibidas por todas las dosis probadas.

La preservación del color en la carne de terneros desde los 14 a los 56 días de maduración aumentó con la dosis de vitamina E (0, 231, 486 ó 2109 UI/d) independientemente del período de tratamiento (42 o 126 días) (Liu y col., 1995). El efecto positivo de la vitamina E se extendió también a la carne picada y a la carne cocinada, aunque en este último caso el efecto estaría limitado por la menor interacción entre la vitamina E y los lípidos durante la preparación. Según estos autores, el mayor beneficio del tratamiento con vitamina E en la ración de terneros para el mercado detallista de la carne se conseguiría con el aporte de 500 UI/d durante 126

días, siendo necesarias dosis mayores si el período de distribución se prolongara más de 60 días.

En corderas consumiendo una ración comercial, el aporte de 0 (control), 500 UI ó 1000 UI/d resultó en menor ganancia de peso para los animales que recibieron la dosis mayor de vitamina E, sin que se afectaran las características de la canal (Wulf y *col.*, 1995). La acumulación de alfatocoferol en la musculatura fue igual para los grupos que recibieron vitamina E y significativamente superior al grupo control (3,5 en el control vs 5,9 y 5,67 $\mu\text{g/g}$ en los grupos con vitamina E). La resistencia a la oxidación durante el almacenamiento de la carne fue igual para ambos tratamientos y un 60% mayor que en el grupo control. Igualmente el color y la apariencia de la carne a los 7 días de almacenamiento fueron mejores en los grupos que recibieron vitamina E, con pocas diferencias entre los grupos experimentales.

La administración de vitamina E a una dosis de 45 mg/d a corderos en cebo redujo la oxidación y las pérdidas por goteo y tendió a mantener el color de la carne tras 12 días de almacenamiento (Macit y *col.*, 2002).

VITAMINA D3

La vitamina D3 necesita convertirse en el organismo por doble hidroxilación, hepática y renal, en dihidroxicolecalciferol que es la forma biológicamente activa. El efecto principal de la acción de esta vitamina es la mineralización del hueso para lo cual actúa elevando los niveles de calcio y fósforo del plasma mediante la estimulación de la absorción intestinal de calcio y fósforo, la resorción ósea y la reabsorción renal (Bondi, 1989). La concentración recomendada en la ración de terneros es de 275 UI/Kg de materia seca (NRC, 1996), mientras que para corderos la ración debe aportar 120 UI/d (McDonald y *col.*, 2006). La cantidad máxima de vitamina D3 en la ración reconocida como segura en administraciones inferiores a 60 días de duración es 100 veces superior a las necesidades mínimas recomendadas (NRC, 1987). En la Unión Europea, la cantidad de vitamina D3 en la ración de los rumiantes no puede exceder de 4000 UI/kg (UE, 2004).

La vitamina D3 se ha relacionado con la terneza de la carne por favorecer el incremento del contenido intramuscular de calcio. Se cree que un elevado nivel de calcio iónico en el músculo al sacrificio estimula la actividad de las enzimas calpainas que degradan las proteínas miofibrilares (Geay y *col.*, 2001), a su vez, la proteólisis estaría estrechamente ligada con la terneza de la carne (Swanek y *col.*, 1999; Montgomery y *col.*, 2000; Montgomery y *col.*, 2002; Wiegand y *col.*, 2001). Salvo en lo relativo a la terneza, el tratamiento con vitamina D3 en los días previos al sacrificio no ha mostrado efectos importantes sobre la calidad de la canal o de la carne de terneros y corderos (Swanek y *col.*, 1999; Montgomery y *col.*, 2002; Boleman y *col.*, 2004; Montgomery y *col.*, 2004) y sólo efectos menores sobre los resultados productivos cuando se ha administrado a dosis elevadas (Montgomery y *col.*, 2002; Montgomery y *col.*, 2004).

La administración de vitamina D3 vía pienso a terneros durante 7 días antes del sacrificio a una dosis de 5×10^6 UI/d aumentó la concentración de calcio intramuscular y redujo la resistencia al corte a los 7 días tras el sacrificio, pero no hubo diferencias con el lote control a los 14 y 21 días. En una segunda prueba, la dosis se aumentó a $7,5 \times 10^6$ UI/d y se suministró durante los 10 días previos al sacrificio, resultando en que la resistencia al corte a los 7, 14 y 21 días de maduración fue significativamente inferior en

la carne de los terneros que consumieron la vitamina D3 suplementaria (Swanek y *col.*, 1999).

En una serie de experiencias con terneros (Montgomery y *col.*, 2000; Montgomery y *col.*, 2002; Montgomery y *col.*, 2004), se comprobó que la administración durante 8 a 10 días antes del sacrificio de vitamina D3 a dosis comprendidas entre $0,5$ y $7,5 \times 10^6$ UI/d redujo la resistencia al corte de la carne a los 14 días de maduración. Los terneros que consumieron las raciones experimentales con mayores niveles de vitamina D3 tuvieron menor ganancia de peso. Además mostraron un contenido de vitamina D3 en la musculatura y el hígado muy superior a los terneros del grupo control. Según dichos autores, este hecho plantea el problema de la cantidad de carne de terneros tratados que se puede consumir sin provocar hipervitaminosis. Por el contrario, la administración en el pienso de una dosis de $0,5 \times 10^6$ UI/d durante 8 ó 9 días antes del sacrificio resultó en la mejora de la terneza de la carne, sin afectar negativamente a los resultados productivos y minimizando el riesgo de residuos en la carne.

Al contrario que en los terneros, las experiencias realizadas en corderos no han mostrado una mejora de la terneza de la carne en respuesta a la adición de vitamina D3 suplementaria en la ración (Wiegand y *col.*, 2001; Boleman y *col.*, 2003). La administración a corderos durante los 7 días previos al sacrificio de 2×10^6 UI/d de vitamina D3 incrementó la concentración de calcio iónico en el plasma pero no tuvo efectos sobre la concentración intramuscular ni se observaron diferencias en la resistencia al corte frente al grupo control a lo largo de 21 días de maduración (Wiegand y *col.*, 2001).

Igualmente, la administración en el pienso de setecientas $0,05 \times 10^6$ UI/d de vitamina D3 a corderos durante 14 días antes del sacrificio no incrementó la concentración de calcio iónico en la sangre ni resultó en reducción de la resistencia al corte de la carne a lo largo de 15 días de maduración (Boleman y *col.*, 2003).

COLINA

La colina, entre otras funciones fisiológicas, evita la acumulación de grasas en el hígado estimulando la eliminación de los triglicéridos mediante su transformación en lecitinas. También participa en procesos de transmetilación en interrelación con el ácido fólico y la vitamina B12 para la formación de metionina a partir de la homocisteína y la creatina (Bondi, 1989). Los rumiantes, como otros animales, no tienen un requerimiento específico de colina en la ración ya que las necesidades diarias son normalmente cubiertas por la síntesis hepática a partir de la metionina (McDonald y *col.*, 2006).

En terneros que recibieron una ración suplementada o no con colina protegida (0; 0,25; 0,5 y 1% de la materia seca), el grado de producción de la canal aumentó linealmente con el aporte de colina pero el veteado fue mejor en las canales de los terneros que recibieron la ración control (Bryant y *col.*, 1999). En un segundo experimento con corderos que recibieron los mismos niveles de colina y una ración similar, no se pudieron encontrar diferencias significativas en la canal, salvo una ligera tendencia a la reducción del rendimiento y el aumento significativo de la grasa mesentérica y renal con los niveles crecientes de colina.

BETAÍNA

La betaína (trimetilglicina) es un donante de grupos metilo en el proceso de transmetilación que regenera metionina desde homocisteína (Lehninger, 1985). La betaína puede participar en el metabolismo lipídico de forma indirecta como donante de grupos metilo en la síntesis de colina a partir de la dimetiletanolamina (Fernández y *col.*, 1998). La degradación ruminal de la betaína es extensa pero no completa, la incubación con líquido ruminal de terneros consumiendo una ración concentrada o una ración en base a forraje resultó en la degradación a las 24 horas del 79% y el 53% respectivamente de la cantidad inicial (Löest y *col.*, 2001).

En terneros, el suministro de betaína a 10,5 ó 21 g/d, tuvo poco efecto sobre los resultados productivos pero modificó algunas características de la canal (Löest y *col.*, 2002). El rendimiento de la canal y el espesor de la grasa dorsal aumentaron significativamente respecto al lote testigo sin betaína en tanto que se redujo el área del músculo longísimo. El grado de producción fue mayor en los animales que recibieron betaína pero no se afectó la marmorización. En una segunda prueba con novillas, el suministro de 4 ó 12 g/d de betaína mejoró la marmorización respecto al lote control sin betaína, pero no se modificaron los parámetros productivos ni otras características de la canal.

El consumo de 40 g/d de betaína en terneros durante los últimos 7 días antes del sacrificio resultó en un incremento significativo del peso de la canal (2 kg) sin que el espesor de la grasa dorsal ni el grado de marmorización fueran diferentes de los del lote control sin betaína (Bock y *col.*, 2002).

En corderos (machos y hembras) que recibieron una ración concentrada de crecimiento y cebo, la adición al concentrado de 20 g de betaína por kilo de materia seca no afectó al crecimiento pero redujo de forma significativa el espesor de la grasa dorsal y el contenido de lípidos neutros en la grasa intramuscular (Fernández y *col.*, 1998). En una segunda experiencia (Fernández y *col.*, 2000) se comparó el efecto de la betaína libre o protegida de la degradación ruminal suministrada a una dosis de 20 g/kg de materia seca de concentrado a corderos machos y hembras en crecimiento y cebo. En los machos no se observaron diferencias en los resultados productivos o en las características de la canal entre ambas formas de suministro ni de estas con el control. Sin embargo, en las hembras que consumieron betaína libre ocurrió reducción significativa del espesor de la grasa dorsal y disminución la grasa perirrenal y de los lípidos intramusculares.

CARNITINA

La carnitina es una molécula similar a las vitaminas que participa en el transporte de ácidos grasos de cadena larga y media a través de la membrana mitocondrial, facilitando la betaoxidación de los mismos (Lehninger, 1985). La actividad biológica de la carnitina en el organismo humano es diversa achacándosele efectos beneficiosos tales como la reducción del colesterol o la mejora de la absorción de calcio (Arihara y *col.*, 2006). La musculatura de vacuno contiene 1,86-3,57 $\mu\text{mol/g}$ de L-carnitina (Shimada y *col.*, 2005).

El efecto de la carnitina en el ganado que consume raciones muy concentradas es poco claro. Novillas de engorde con un elevado plano de alimentación que recibieron 1 g/d de carnitina, produjeron canales de baja

calidad (Hill y *col.*, 1995) en tanto que terneros y novillas que recibieron únicamente 100 ppm resultaron en canales de mejor calidad.

En otra experiencia (Greenwood y *col.*, 2001), el suministro de 2 g/d de carnitina a terneros únicamente mostró tendencia a aumentar la deposición de grasa en la canal y a mejorar el veteado.

RECOMENDACIONES

Los efectos que los nutrientes considerados en la presente revisión pueden tener sobre la calidad de la canal y de la carne pueden agruparse en:

a) Incremento del contenido de nutrientes de efecto positivo sobre la salud de los consumidores.

1. Mayor concentración en ácidos grasos saludables.

La adición de grasa suplementaria a las raciones puede modificar el tenor de ácidos grasos en la carne de los rumiantes en un sentido favorable para la salud del consumidor. Es posible aumentar los AGPI de la serie n-3 e incrementar la concentración de ALC en los lípidos musculares. El éxito de la manipulación del contenido lipídico de la carne radica en la adecuada elección y utilización de las fuentes suplementarias de grasa en función del tipo de ración que consumen los animales. No obstante, la calidad sensorial (olor y sabor) puede verse afectada si la incorporación a la ración de ácidos grasos procedentes de fuentes marinas o aceite de lino es excesiva.

1. Aumento de la concentración en selenio.

Mediante la incorporación a la ración de los rumiantes de alimentos ricos en selenio existe la posibilidad de producir carne naturalmente enriquecida con este oligoelemento y potencialmente beneficiosa para la salud humana. A pesar de ello, la cantidad máxima de selenio total presente en la ración está sometida a regulación legal por lo que actualmente, al menos en la Unión Europea, esta manipulación nutricional es impracticable.

b) Mejora de alguna de las características utilizadas para la valoración comercial de la canal.

La mejora de las características de la canal por la incorporación de cantidades suplementarias de minerales (magnesio) y oligoelementos (cobre, zinc), o la inclusión de sustancias análogas a las vitaminas (colina, betaína, carnitina), no tiene beneficios concluyentes. En el caso de estas últimas, no parece indicado el encarecimiento de las raciones con su utilización rutinaria.

c) Preservación del color durante la maduración y la comercialización.

No existen pruebas suficientes que avalen la inclusión extra de manganeso en la ración con objeto de contribuir a la estabilidad del color de la carne ni a la mejora de las características de la canal. Por el contrario, la adición de cantidades suplementarias de vitamina E tiene un efecto claramente positivo, por su efecto antioxidante, sobre la preservación del color de la carne a la par que ayuda a evitar olores y sabores indeseables debidos al enranciamiento.

d) Aumento de la terneza de la carne.

La adición de elevadas cantidades de vitamina D3 a la ración de los terneros tiene efectos claramente positivos sobre la terneza de la carne, aunque este efecto no ha podido ser demostrado en corderos. Sin embargo, las cantidades de vitamina D3 utilizadas en las experiencias son muy superiores a lo considerado seguro para la salud de los animales y a lo legalmente permitido dentro de la Unión Europea.

CONCLUSIONES

El diseño de las raciones para los animales de producción en general y de los rumiantes en particular ha de tener en consideración que la nutrición no sólo debe procurar obtener los mejores resultados productivos en beneficio directo del ganadero, sino también influir positivamente en las cualidades sensoriales y dietéticas de la carne para mejorar la percepción organoléptica y sanitaria que el consumidor tiene de la misma, lo que sin duda proporciona un valor comercial añadido. No obstante, aunque algunas de las modificaciones que se pueden realizar en las raciones para conseguir los objetivos mencionados son de carácter estrictamente nutricional, otras implican la utilización de sustancias cuyo nivel de inclusión deberá ajustarse a las restricciones legales aplicables en cada país.

BIBLIOGRAFIA

1. Aharoni, Y., Orlov, A., Brosh, A. Effects of high-forage content and oilseed supplementation of fattening diets on conjugated linoleic acid (CLA) and trans fatty acids profiles of beef lipids fractions. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2004, vol. 117, p. 43-60.
2. Aharoni, Y., Orlov, A., Brosh, A., Granit, R., Kanner, J. Effects of soybean oil supplementation of high forage fattening diet on fatty acid profiles in lipid depots of fattening bull calves, and their levels of blood vitamin E. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2005, vol. 119, p. 191-202.
3. Anónimo. Calidad de canal en ganado vacuno. Trouw Nutrition España S.A. Madrid. 2003. 20 pp.
4. ANZFA (Australia New Zeland Food Authority). DHA-rich dried marine micro algae (*Schizochytrium* sp.) and DHA-rich oil derived from *Schizochytrium* sp. as novel food ingredients. 2001. Disponible en <http://www.foodstandards.gov.au/standardsdevelopment/applications/applicationa428marinemicroalgaeasanovelfood/a428draftassexecsumm1494.cfm>.
5. Apple, J.K., Roberts, W.J., Maxwell Jr, C.V., Rakes, L.K., Friesen, K.G., Fakler, T.M. Influence of dietary inclusion level of manganese on pork quality during retail display. *Meat Sci.*, 2007, vol. 75, p. 640-647.
6. Arihara, K. Strategies for designing novel functional meat products. *Meat Sci.*, 2006, vol. 74, p. 219-229.
7. Arnold, R.N., Scheller, K.K., Arp, S.C., Williams, S.N., Buege, D.R., Schaefer, D.M. Effect of long- or short-term feeding of α -tocopheryl acetate to holstein and crossbred beef steers on performance, carcass characteristics, and beef colour stability. *J. Anim. Sci.*, 1992, vol. 40, p. 3055-3065.
8. Barton, L., Marounek, M., Kudrna, V., Bures, D., Zahradkova, R. Growth performance and fatty acid profiles of intramuscular and subcutaneous fat from Limousin and Charolais heifers fed extruded linseed. *Meat Sci.*, 2007, vol. 76, p. 517-523.
9. Beaulieu, A.D., Drackley, J.K., Merchen, N.R. Concentrations of conjugated linoleic acid (cis-9, trans-11-octadecadienoic acid) are

- not increased in tissue lipids of cattle fed a high-concentrate diet supplemented with soybean oil. *J. Anim. Sci.*, 2002, vol. 80, p. 847-861.
10. Beriain, M.J. Calidad de la carne ovina. En C. Buxadé (coordinador), *Ovino de carne: aspectos claves*. Madrid (España): Editorial Mundi-Prensa, 1998 p. 401-418. ISBN 84-7114-774-2.
 11. Bessa, R.J.B., Portugal, P.V., Mendes, I.A., Santos-Silva J. Effect of lipid supplementation on growth performance, carcass and meat quality and fatty acid composition of intramuscular lipids of lambs fed dehydrated lucerne or concentrate. *Livest. Prod. Sci.*, 2005, vol. 96, p. 185-194.
 12. Bock, B.J., Brethour, J.R., Goodall, S.R. Effect of 7-day pre-harvest 40-g betaine regimen on dressing percent of feedlot steers. *Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science*, 2002, vol. 53. Disponible en URL: <<http://www.asas.org/western/02proc/20074.doc>>
 13. Boleman, C.T., McKenna, D.R., Ramsey, W.S., Peel, R.K., Savell, J.W. Influence of feeding vitamin D3 and aging on the tenderness of four lambs muscles. *Meat Sci.*, 2004, vol. 67, p. 185-190.
 14. Bolte, M.R., Hess, B.W., Means, W.J., Moss, G.E., Rule, D.C. Feeding lambs high-oleate or high-linoleate safflower seeds differentially influences carcass fatty acid composition. *J. Anim. Sci.*, 2002, vol. 80, p. 609-616.
 15. Bondi, A.A. *Nutrición Animal*. Zaragoza (España): Editorial Acribia, 1989, 546 p. ISBN: 84-200-0662-9.
 16. Bryant, T.C., Rivera, J.D., Galyean, M.L., Duff, G.C., Hallford, D.M., Montgomery, T.H. Effects of dietary level of ruminally protected choline on performance and carcass characteristics of finishing beef steers and on growth and serum metabolites in lambs. *J. Anim. Sci.*, 1999, vol. 77, p. 2893-2903.
 17. Buckley, D.J., Morrissey, P.A., Gray, J.I. Influence of dietary vitamin E on the oxidative stability and quality of pig meat. *J. Anim. Sci.*, 1995, vol. 73, p. 3122-3130.
 18. Cañeque, V., Ruiz de Huidobro, F., Dolz, J.F., Hernández, J.A. *Producción de carne de cordero*. Madrid (España): Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1989, 520 p. ISBN 84-747-9782-9.
 19. Clark, L.C., Combs Jr, G.F., Turnbull, B.W., Slate, E.H., Chalker, D.K., Chow, J., Davis, L.S., Glover, R.A., Graham, G.F., Gross, E.G., Krongrad, A., Leshner Jr, J.L., Park, H.K., Sanders Jr, B.B., Smith, C.L., Taylor, J.R. Effects of selenium supplementation for cancer prevention in patients with carcinoma of the skin. A randomized controlled trial. Nutritional Prevention of Cancer Study Group. *JAMA*, 1996, vol. 276, p. 1957-1963.
 20. Clark, J.E. Taste and flavour: their importance in food choice and acceptance. *Proc. Nutr. Soc.*, 1998, vol. 57, p. 639-643
 21. Cooper, S.L., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G., Hallet, K.G., Enser, M., Wood, J.D. Manipulation of the n-3 polyunsaturated fatty acid content of muscle and adipose tissue in lambs. *J. Anim. Sci.*, 2004, vol. 82, p. 1461-1470.
 22. De La Torre, A., Gruffat, D., Durand, D., Micol, D., Peyron, A., Scislowski, V., Bauchart, D. Factors influencing proportion and composition of CLA in beef. *Meat Sci.*, 2006, vol. 73, p. 258-268.
 23. Demirel, G., Wachira, A.M., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G., Wood, J.D., Enser, M. Effects of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids, breed and dietary vitamin E on the fatty acids of lamb muscle, liver and adipose tissue. *Br. J. Nutr.*, 2004, vol. 91, p. 551-565.

24. Drake, D.J. Understanding and improving beef cattle carcass quality. Disponible en URL: <<http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/8130.pdf>> Consultado: 13/02/07.
25. Elmore, J.S., Cooper, S.L., Enser, M., Mottram, D.S., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G., Wood, J.D. Dietary manipulation of fatty acid composition in lamb meat and its effect on the volatile aroma compounds of grilled lamb. *Meat Sci.*, 2005, vol. 69, p. 233-242.
26. Engle, T.E., Spears, J.W., Armstrong, T.A., Wright, C.L., Odle, J. Effects of dietary copper source and concentration on carcass characteristics and lipid and cholesterol metabolism in growing and finishing steers. *J. Anim. Sci.*, 2000a, vol. 78, p. 1053-1059.
27. Engle, T.E., Spears, J.W., Fellner, V., Odle, J. Effects of soybean oil and dietary copper on ruminal and tissue lipid metabolism in finishing steers. *J. Anim. Sci.*, 2000b, vol. 78, p. 2713-2721.
28. Engle, T.E., Spears, J.W. Dietary copper effects on lipid metabolism, performance, and ruminal fermentation in finishing steers. *J. Anim. Sci.*, 2000, vol. 78, p. 2452-2458.
29. Enser, M., Scollan, N.D., Choi, N.J., Kurt, E., Hallet, K., Wood, J.D. Effect of dietary lipid on the content of conjugated linoleic acid (CLA) in beef muscle. *Anim. Sci.*, 1999, vol. 69, p. 143-146.
30. Farmer, L.J. The role of nutrients in meat flavour formation. *Proc. Nutr. Soc.*, 1994, vol. 53, p. 327-333.
31. FEDNA. En De Blas, C., Mateos, G.G., Rebollar, P.G. (eds.), *Tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos*. 2ª edición. Madrid (España): Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 2003. Disponible en URL: <<http://www.etsia.upm.es/fedna/introtabla.htm>>
32. Fernández, C., Gallego, L., Lopez-Bote, C.J. Effect of betaine on fat content in growing lambs. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 1998, vol. 73, p. 329-338.
33. Fernández, C., López-Saez, A., Gallego, L., De La Fuente, J.M. Effect of source of betaine on growth performance and carcass traits in lambs. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 2000, vol. 86, p. 71-82.
34. Geay, Y., Bauchart, D., Hocquette, J.F., Culioli, J. Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. *Reprod. Nutr. Dev.*, 2001, vol. 41, p. 1-26.
35. Gillis, M.H., Duckett, S.K., Sackmann, J.R. Effects of supplemental rumen-protected conjugated linoleic acid or corn oil on fatty acid composition of adipose tissues in beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 2004, vol. 82, p. 1149-1427.
36. Greenwood, R.H., Titgemeyer, E.C., Stokka, G.L., Drouillard, J.S., Löest, C.A. Effects of L-carnitine on nitrogen retention and blood metabolites of growing steers and performance of finishing steers. *J. Anim. Sci.*, 2001, vol. 79, p. 254-260.
37. Griswold, K.E., Apgar, G.A., Robinson, R.A., Jacobson, B.N., Johnson, D., Woody, H.D. Effectiveness of short-term feeding strategies for altering conjugated linoleic acid content of beef. *J. Anim. Sci.*, 2003, vol. 81, p. 1862-1871.
38. Hill, G.M., Newton, G.L., Blum, S.A. Carnitine supplementation of feedlot heifer and steer diets. *J. Anim. Sci.*, 1995, vol. 73, sup. 1, p. 187.

39. INRA (Institut National de la Recherche Agronomique). *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. París (Francia): Editorial INRA, 1988, 471 p. ISBN 2-73-800-021-5.
40. Kanner, J. Oxidative processes in meat and meat products: quality implications. *Meat Sci.*, 1994, vol. 36, p. 169-189.
41. Kessler, J., Morel, I., Dufey, P.A., Gutzwiller, A., Stern, A., Geyer, H. Effect of organic zinc sources on performance, zinc status and carcass, meat and claw quality in fattening bulls. *Livest. Prod. Sci.*, 2003, vol. 81, p. 161-171.
42. Kitessa, S.M., Gulati, S.K., Ashes, J.R., Fleck, E., Scott, T.W., Nichols, P.D. Utilisation of fish oil in ruminants I. Fish oil metabolism in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2001a, vol. 89, p. 189-199.
43. Kitessa, S.M., Gulati, S.K., Ashes, J.R., Fleck, E., Scott, T.W., Nichols, P.D. Utilisation of fish oil in ruminants II. Transfer of fish oil fatty acids into goat's milk. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2001b, vol. 89, p. 201-208.
44. Kitessa, S.M., Peake, D., Bencini, R., Williams, A.J. Utilisation of fish oil in ruminants III. Transfer of n-3 polyunsaturated fatty acids (PUFA) from tuna oil into sheep's milk. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2003, vol. 108, p. 1-14.
45. Koohmaraie, M. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Sci.*, 1996, vol. 43(S), p. S193-S201.
46. Kott, R.W., Hatfield, P.G., Bergman, J.W., Flynn, C.R., Van Wagoner, H., Boles, J.A. Feedlot performance, carcass composition, and muscle and fat CLA concentrations of lambs fed diets supplemented with safflower seeds. *Small Rum. Res.*, 2003, vol. 49, p. 11-17.
47. Lawler, T.L., Taylor, J.B., Finley, J.W., Caton, J.S. Effect of supranutritional and organically bound selenium on performance, carcass characteristics, and selenium distribution in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.*, 2004, vol. 82, p. 1488-1493.
48. Legleiter, L.R., Spears, J.W., Lloyd, K.E. Influence of dietary manganese on performance, lipid metabolism, and carcass composition of growing and finishing steers. *J. Anim. Sci.*, 2005, vol. 83, p. 2434-2439.
49. Lehninger, A.L. *Bioquímica*. Barcelona (España): Ediciones Omega, 1985, 1117 p. ISBN 84-282-0211-7.
50. Lepetit, J. A theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen cross-links and meat tenderness. *Meat Sci.*, 2007, vol. 76, p. 147-159.
51. Liu, Q., Lanari, M.C., Schaefer, D.M. A review of dietary vitamin E supplementation for improvement of beef quality. *J. Anim. Sci.*, 1995, vol. 73, p. 3131-3140.
52. Löest, C.A., Titgemeyer, E.C., Drouillard, J.S., Blasi, D.A., Bindel, D.J. Soybean hulls as a primary ingredient in forage-free diets for limit-fed growing cattle. *J. Anim. Sci.*, 2001, vol. 79, p. 766-774.
53. Löest, C.A., Titgemeyer, E.C., Drouillard, J.S., Coetzer, C.M., Hunter, R.D., Bindel, D.J., Lambert, B.D. Supplemental betaine and peroxide-treated feather meal for finishing cattle. *J. Anim. Sci.*, 2002, vol. 80, p. 2234-2240.
54. Macit, M., Aksakal, V., Emsen, E., Esenbuga, N., Aksu, M.I. Effects of vitamin E supplementation on fattening performance, non-carcass components and retail cut percentages, and meat quality traits of awassi lambs. *Meat Sci.*, 2003, vol. 64, p. 1-6.
55. Madron, M.S., Peterson, D.G., Dwyer, D.A., Corl, B.A., Baumgard, L.H., Beerman, D.H., Bauman, D.E. Effect of extruded

- full-fat soybeans on conjugated linoleic acid content of intramuscular, intermuscular, and subcutaneous fat in beef steers. *J. Anim. Sci.*, 2002, vol. 80, p. 1135-1143.
56. Malcolm-Callis, K.J., Duff, G.C., Gunter, S.A., Kegley, E.B., Vermeire, D.A. Effects of supplemental zinc concentration and source on performance, carcass characteristics, and serum values in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.*, 2000, vol. 78, p. 2801-2808.
57. Maltin, C., Balcerzack, D., Tilley, R., Delday, M. Determinants of meat quality: tenderness. *Proc. Nutr. Soc.*, 2003, vol. 62, p. 337-347.
58. Martínez, A.L. Influencia de la nutrición sobre el contenido y tipo de ácidos grasos en la carne de los rumiantes. *Arch. Zootec.*, 2007, vol. 56(R), p. 45-66.
59. McCormick, R.J. The flexibility of the collagen compartment of muscle. *Meat Sci.*, 1994, vol. 36, p. 79-91.
60. McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A. *Nutrición animal*. Zaragoza (España): Editorial Acribia, 2006, 587 p. ISBN 84-200-1070-7.
61. McDowell, L.R., Williams, S.N., Hidioglou, N., Njeru, C.A., Hill, G.M., Ochoa, L., Wilkinson, N.S. Vitamin E supplementation for the ruminant. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1996, vol. 60, p. 273-196.
62. Melton, S.L. Effects of feeds on flavour of red meat: a review. *J. Anim. Sci.*, 1990, vol. 68, p. 4421-4435.
63. Mir, Z., Rushfeldt, M.L., Mir, P.S., Paterson, L.J., Weselake, R.J. Effect of dietary supplementation with either conjugated linoleic acid (CLA) o linoleic acid rich oil on the CLA content of lamb tissues. *Small Rum. Res.*, 2000, vol. 36, p. 25-31.
64. Monahan, F.J., Asghar, A., Gray, J.I., Buckley, D.J. Effect of oxidized dietary lipid and vitamin E on the colour stability of pork chops. *Meat Sci.*, 1994, vol. 37, p. 205-215.
65. Montgomery, J.L., Parrish Jr, F.C., Beitz, D.C., Horst, R.L., Huff-Lonergan, E.J., Trenkle, A.H. The use of vitamin D3 to improve beef tenderness. *J. Anim. Sci.*, 2000, vol. 78, p. 2615-2621.
66. Montgomery, J.L., Carr, M.A., Kerth, C.R., Hilton, G.G., Price, B.P., Galyean, M.L., Horst, R.L., Miller, M.F. Effect of vitamin D3 supplementation level on the postmortem tenderization of beef from steers. *J. Anim. Sci.*, 2002, vol. 80, p. 971-981.
67. Montgomery, J.L., Galyean, M.L., Horst, R.L., Morrow Jr, K.J., Blanton Jr, J.R., Wester, D.B., Miller, M.F. Supplemental vitamin D3 concentration and biological type of beef steers. I. Feedlot performance and carcass traits. *J. Anim. Sci.*, 2004, vol. 82, p. 2050-2058.
68. Morrissey, P.A., Buckley, D.J., Sheehy, P.J.A., Monahan, F.J. Vitamin E and quality meat quality. *Proc. Nutr. Soc.*, 1994, vol. 53, p. 289-295.
69. Morrissey, P.A., Sheehy, P.J.A., Galvin, K., Kerry, J.P., Buckley, D.J. Lipid stability in meat and meat products. *Meat Sci.*, 1998, vol. 49. sup. S1, p. S73-S86.
70. Noci, F., O'kiely, P., Monahan, F.J., Stanton, C., Moloney, A.P. Conjugated linoleic acid concentration in M. Longissimus dorsi from heifers offered sunflower oil-based concentrates and conserved forages. *Meat Sci.*, 2005, vol. 69, p. 509-518.
71. NRC (National Research Council). *Vitamin tolerance of animals*. Washington D.C.: National Academic Press, 1987, 96 p. ISBN 0-309-03728-X.
72. NRC (National Research Council). *Nutrient requirements of beef cattle*. Washington D.C.: National Academic Press, 1996, 234 p. ISBN 0-309-06934-3.

73. Ouali, A., Hernán, C., Coulis, G., Becila, S., Boudjellal, A., Aubry, L., Sentandreu, M.A. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Sci.*, 2006, vol. 74, p. 44-58.
74. Owens, F.N., Gardner, B.A. A review of the impact of feedlot management and nutrition on carcass measurements of feedlot cattle. *Proceedings of the American Society of Animal Science*, 1999. Disponible en URL: <<http://www.asas.org/JAS/symposia/proceedings/0940.pdf>>
75. Ponnampalam, E.N., Sinclair, A.J., Egan, A.R., Blakeley, S.J., Li, D., Leury, B.J. Effect of diets containing n-3 fatty acids on muscle long-chain n-3 fatty acid content in lambs fed low- and medium-quality roughage diets. *J. Anim. Sci.*, 2001b, vol. 79, p. 698-706.
76. Ponnampalam, E.N., Sinclair, A.J., Egan, A.R., Blakeley, S.J., Li, D., Leury, B.J. Effect of dietary modification of muscle long-chain n-3 fatty acid on plasma insulin metabolites, carcass traits, and fat deposition in lambs. *J. Anim. Sci.*, 2001b, vol. 79, p. 895-903.
77. Pratoomyot, J., Srivilas, P., Noiraksar, T. 2005. Fatty acids composition of 10 microalgal species. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 2005, vol. 27, nº 6, p. 1179-1187.
78. Purslow, P.P. Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Sci.*, 2005, vol. 70, p. 435-447.
79. Raes, K., De Smet, S., Balcaen, A., Claeys, E., Demeyer, D. Effect of diets rich in N-3 polyunsaturated fatty acids on muscle lipids and fatty acids in Belgian Blue double-muscled young bulls. *Reprod. Nutr. Dev.*, 2003, vol. 43, p. 331-345.
80. Ramirez, J.E., Zinn, R.A. Interaction of dietary magnesium level on the feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers. *J. Anim. Sci.*, 2000, vol. 78, p. 2072-2080.
81. Rayman, M.P. Selenium in cancer prevention: a review of the evidence and mechanism of action. *Proc. Nutr. Soc.*, 2005, vol. 64, p. 527-542.
82. Reynolds, C.K., Cannon, V.L., Loerch, S.C. Effects of forage source and supplementation with soybean and marine algal oil on milk fatty acid composition of ewes. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2006, vol. 131, p. 333-357.
83. Risvik, E. Sensory properties and preferences. *Meat Sci.*, 1994, vol. 36, p. 67-77.
84. Robert, N., Briand, M., Taylor, R., Briand, Y. The effect of proteasome on myofibrillar structures in bovine skeletal muscle. *Meat Sci.*, 1999, vol. 51, p. 149-153.
85. Santos-Silva, J., Bessa, R.J.B., Mendes, I.A. The effect of supplementation with expanded sunflower seed on carcass and meat quality of lambs raised on pasture. *Meat Sci.*, 2003, vol. 65, p. 1301-1308.
86. Santos-Silva, J., Mendes, I.A., Portugal, P.V., Bessa, R.J.B. Effect of particle size and soybean oil supplementation on growth performance, carcass and meat quality and fatty acid composition of intramuscular lipids of lambs. *Livest. Prod. Sci.*, 2004, vol. 90, p. 79-88.
87. Sañudo, C., Campo, M.M. Calidad de la canal por tipos. En Buxadé, C. (coordinador), *Vacuno de carne: aspectos claves*. Madrid (España): Editorial Mundi-Prensa, 1998, p. 465-492. ISBN 84-7114-743-2.
88. Schaefer, A.L., Dubeski, P.L., Aalhus, J.L., Tong, A.K.W. Role of nutrition in reducing antemortem stress and meat quality aberrations. *J. Anim. Sci.*, 2001, vol. 79 (E. Suppl.), p. E91-E101.

89. Shimada, K., Sakuma, Y., Wakamatsu, J., Fukushima, M., Sekikawa, M., Kuchida, K., Mikami, M. Species and muscle differences in L-carnitine levels in skeletal muscles based on a new simple assay. *Meat Sci.*, 2004, vol. 68, p. 357-362.
90. Silva, J.A., Patarata, L., Martins, C. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. *Meat Sci.*, 1999, vol. 52, p. 453-459.
91. Sinclair, L.A., Cooper, S.L., Chikunya, S., Wilkinson, R.G., Hallet, K.G., Enser, M., Wood, J.D. Biohydrogenation of n-3 polyunsaturated fatty acids in the rumen and their effects on microbial metabolism and plasma fatty acid concentrations in sheep. *Anim. Sci.*, 2005a, vol. 81, p. 239-248.
92. Sinclair, L.A., Cooper, S.L., Huntington, J.A., Wilkinson, R.G., Hallet, K.G., Enser, M., Wood, J.D. Biohydrogenation of n-3 polyunsaturated fatty acids in the rumen and their effects on microbial metabolism and plasma fatty acid concentrations in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2005b, vol. 123-124, p. 579-596.
93. Spears, J.W., Kegley, E.B. Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *J. Anim. Sci.*, 2002, vol. 80, p. 2747-2752.
94. Swaneek, S.S., Morgan, J.B., Owens, F.N., Gill, D.R., Strasia, C.A., Dolezal, H.G., Ray, F.K. Vitamin D3 supplementation of beef steers increases longissimus tenderness. *J. Anim. Sci.*, 1999, vol. 77, p. 874-881.
95. Taylor, J.B., Lawler, T.L., Finley, J.W., Caton, J.S. Effect of high selenium feeds on selenium status in finishing beef steers. *Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science*, 2002, vol. 53. Disponible en URL: <<http://www.asas.org/western/02proc/20099.doc>>
96. UE. REGLAMENTO (CE) Nº 1234/2003 DE LA COMISIÓN de 10 de julio de 2003 por el que se modifican los anexos I, IV y XI del Reglamento (CE) nº 999/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo y el Reglamento (CE) nº1326/2001 en lo que respecta a las encefalopatías espongiformes transmisibles y a la alimentación animal. 2003. Disponible en URL: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:173:0006:0013:ES:PDF>>
97. UE. List of the authorised additives in feedingstuffs published in application of Article 9t (b) of Council Directive 70/524/EEC concerning additives in feedingstuffs. 2004. Disponible en URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/es/oj/2004/c_050/c_05020040225es00010144.pdf>
98. USDA. USDA Food Search for Windows, Version 1.0, database version SR 19. 2007a. Consultado: 27/02/2007.
99. USDA. National Academy of Sciences. Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes: Elements. 2007b. Disponible en URL: <<http://www.iom.edu/Object.File/Master/7/294/0.pdf>> Consultado: 27/02/2007.
100. Wachira, A.M., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G., Enser, M., Wood, J.D., Fisher, A.V. Effects of dietary fat source and breed on the carcass composition, n-3 polyunsaturated fatty acid and conjugated linoleic acid content of sheep meat and adipose tissue. *Br. J. Nutr.*, 2002, vol. 88, p. 697-709.

101. Ward, J.D., Spears, J.W., Kegley, E.B. Bioavailability of copper proteinate and copper carbonate relative to copper sulphate in cattle. *J. Dairy Sci.*, 1996, vol. 79, p. 127-132.
102. Ward, J.D., Spears, J.W. Long-term effects of consumption of low-copper diets with or without supplemental molybdenum on copper status, performance, and carcass characteristics of cattle. *J. Anim. Sci.*, 1997, vol. 75, p. 3057-3065.
103. Wheeler, T.L., Savell, J.W., Cross, H.R., Lunt, D.K., Smith, S.B. Mechanisms associated with the variation in tenderness of meat from brahman and hereford cattle. *J. Anim. Sci.*, 1990, vol. 68, p. 4206-4220.
104. Wiegand, B.R., Parrish Jr, F.C., Morrical, D.G., Huff-Lonergan, E. Feeding high levels of vitamin D3 does not improve tenderness of callipyge lamb loin chops. *J. Anim. Sci.*, 2001, vol. 79, p. 2086-2091.
105. Williams, C.M. Dietary fatty acids and human health. *Ann. Zootech.*, 2000, vol. 49, p. 165-180.
106. Wood, J.D., Enser, M., Fischer, A.V., Nute, G.R., Richardson, R.I., Sheard, P.R. Manipulating meat quality and composition. *Proc. Nutr. Soc.*, 1999, vol. 58, p. 363-370.
107. Woods, M.P. Taste and flavour perception. *Proc. Nutr. Soc.*, 1998, vol. 57, p. 603-607
108. Wulf, D.M., Morgan, J.B., Sanders, S.K., Tatum, J.D., Smith, G.C., Williams, S. Effects of dietary supplementation of vitamin E on storage and caselife properties of lamb retail cuts. *J. Anim. Sci.*, 1995, vol. 73, p. 399-405.
109. Zinn, R.A., Shen, Y. Interaction of dietary calcium and supplemental fat on digestive function and growth performance in feedlot steers. *J. Anim. Sci.*, 1996, vol. 74, p. 2303-2309.